

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE *BACTERICERA COCKERELLI* SULC (HEMIPTERA: TRIOZIDAE) EN *SOLANUM TUBEROSUM* L. EN DONATO GUERRA, MÉXICO

José Francisco Ramírez Dávila

Laboratorio de Investigaciones Entomológicas y Tecnologías en Agricultura de Precisión; Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM. Cerrillo Piedras Blancas s/n km 15 Carretera Toluca - Ixtlahuaca, entronque al Cerrillo, C.P. 50200; Toluca, Estado de México; correo electrónico: jframirez@uaemex.mx

Elvia Porcayo Camargo

El Colegio de la Frontera Sur Unidad San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México; correo electrónico: elvia_pcamargo@hotmail.com

Jesús Ricardo Sánchez Pale

Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México; correo electrónico: jrsanchez@att.net.mx

RESUMEN

En México, *Bactericera cockerelli* Sulc. está asociada con fuertes pérdidas económicas a la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.), jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) y tomate (*Physalis ixocarpa* Brot.) al relacionarse con las enfermedades punta morada y “zebra chip”. Además es el transmisor de *Candidatus Liberibacter psyllaourous*. Las alternativas de control han carecido de eficacia debido a que no consideran la distribución espacial del insecto dentro de la parcela que permitiría focalizarlas, haciéndolas más eficaces. Este trabajo tuvo por objetivo comparar la distribución espacial en campo, a través de la generación de mapas, de los estadíos preimaginales y adultos de *B. cockerelli* obtenidos en transectos y cuadrantes en un cultivo de papa utilizando herramientas geoestadísticas y estadística clásica. Los resultados encontrados indican que los índices de dispersión, de Green, Poisson y binomial negativa de la estadística clásica mostraron inconsistencia para determinar la agregación del insecto detectando serias deficiencias y limitaciones. En contraste, las técnicas geoestadísticas permitieron modelar la distribución espacial de las poblaciones de preimaginales (huevos y ninfas) y adultos del insecto, que fue de tipo agregada, tanto en el muestreo por transectos como en el de cuadrantes. La validación estadística de los semivariogramas obtenidos en las tres fechas de muestreo corrobora los resultados. Los mapas tanto en el muestreo de cuadrantes como de transectos reflejan la estructura agregada de las poblaciones del insecto el cual no invadió el 100% de la superficie de la parcela, permitiendo identificar áreas infestadas y libres de infestación.

Palabras clave: geoestadística, papa, “Kriging”, punta morada.

SUMMARY

In Mexico, *Bactericera cockerelli* Sulc. is associated with main economic losses in the production of potato (*Solanum tuberosum* L.), tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) and husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) due to the purple top and “zebra chip”. Besides it is the transmitter of *Candidatus Liberibacter psyllaourous*. The control alternatives have been inefficient because the spatial behavior of the insect inside the plot is not considered. Such distribution would allow focusing the control alternatives making them more efficient. The purpose on this work was to compare the spatial distribution of the immature and adults stages of *B. cockerelli* obtained in potato field by transects and quadrants sampling, using geostatistics and statistics tools. The results indicate that the dispersion index, the green index, Poisson and negative binomial showed inconsistency in order to determine the insect aggregation; detecting strong gaps and constraints whereas the geostatistic techniques allow to determine that the spatial distribution of immature and adult stages was aggregated for all stadia in each of the three dates. As in the sampling by transect as in the sampling by quadrants; in both was

possible to modelize its spatial distribution. The statistical validation of the obtained semivariograms in the three sampling dates corroborates the aggregated distribution of eggs, nymphs and adults. The generated maps in the sampling by quadrants as by transects reflect aggregated structure of the insect population, which did not invade the plot in 100%, permitting to identify the infested areas and the free of infestation.

Key words: geostatistic, potato, “Kriging”, purple top.

INTRODUCCIÓN

Bactericera cockerelli es una plaga que se alimenta de la savia de sus hospedantes. En fechas recientes ha causado enormes pérdidas económicas a la producción de papa en México (Anónimo 2007). Se le atribuyen dos tipos de daños. El primero, de tipo directo, provocado por la inyección de una toxina a la planta durante el estadio de ninfa la cual ocasiona plantas amarillentas y raquílicas, afecta el rendimiento y la calidad de los tubérculos. El segundo, considerado indirecto, es la transmisión, por las ninfas y adultos, de agentes asociados con diversos desordenes fisiológicos en papa como la punta morada (Garzón 2004), papa manchada o rayada (“Zebra chip”) (Munyanza et al. 2007a, Munyanza et al. 2007b) y la transmisión de *Candidatus Liberibacter psyllae*, causante del Huanglongbing (Hansen et al. 2008).

B. cockerelli se encuentra ampliamente distribuida en el municipio de Donato Guerra, afecta a los cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.), jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.) y causa pérdidas económicas de hasta el 80%. En su control se invierte una gran cantidad de recursos económicos, aunque en la mayoría de los casos la eficacia es poca, ya sea porque se desconoce la distribución espacial, biología y hábitos de la plaga para facilitar los mecanismos de acción de los insecticidas o bien por una deficiente técnica de aplicación, lo que ha traído como consecuencia que los productores dedicados a esta actividad disminuyan considerablemente la superficie sembrada (Anónimo 2007).

La distribución espacial de los organismos se ha estudiado considerando las distribuciones estadísticas e índices de dispersión pero no su exacta localización espacial. Esto origina fallas en la diferenciación de los patrones espaciales cuyas descripciones son altamente dependientes del tamaño de las unidades de muestreo y de la relación entre la media y la varianza (Sawyer 1989, Hurlbert 1990). Por otro lado, los métodos geoestadísticos

proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial, debido a que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su localización espacial, además, permiten elaborar mapas de gran utilidad (Isaaks & Srivastava 1988, Oliver & Webster 1991, Rossi et al. 1992, Speight et al. 1998; Sciarretta et al. 2001, Blom & Fleischer 2001) para conocer la distribución espacial de los insectos, permiten establecer grados de infestación que requieran un control inmediato, como también detectar posibles preferencias en su estructura de agregación y zonas que no presenten infestación.

En el presente estudio se comparan la distribución espacial de los estadios preimaginales y adultos de *B. cockerelli* obtenidos con el muestreo por transectos y cuadrantes en el cultivo de papa en el municipio de Donato Guerra, México por medio de la estadística clásica y geoestadística.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos se realizaron mensualmente abarcando el inicio y las fases intermedia y final del ciclo del cultivo de papa y evaluando dos métodos. En el primero se utilizaron transectos de 100 metros y se consideró a la planta de papa, ubicada cada 10 metros en ambas direcciones, como unidad de muestreo, para un total de 121 unidades muestrales; el segundo usando cuadrantes en donde se estableció una malla regular dividida en 100 cuadrantes, de 10x10m cada uno, que cubría una hectárea, considerando 40 cuadrantes tomados al azar y de cada uno se muestrearon arbitrariamente tres plantas, para un total de 120 plantas. En ambos, se contabilizaron los huevos y las ninfas de *B. cockerelli* a partir de cinco hojas del estrato superior, medio e inferior de cada planta. En el caso de los adultos, se realizaron cinco lanzamientos de la red entomológica, por cada planta, se contabilizó la cantidad de adultos capturados. Cada unidad de muestreo se georeferenció utilizando un DGPS. Se realizó una exploración estadística de los datos originales de las poblaciones de preimaginales y

adultos de *B. cockerelli* para determinar su normalidad.

Estadística clásica: Se estimó el comportamiento espacial del insecto utilizando los índices de dispersión y de Green. Además, se determinaron las distribuciones estadísticas de Poisson y binomial negativa.

Geostatística: El semivariograma experimental se estimó con base a los datos obtenidos en los muestreos de la población de huevos, ninfas y adultos del insecto plaga. Los semivariogramas experimentales se obtuvieron con los programas Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Springer Verlag, New York, EEUU).

Estimación de los parámetros del modelo de semivariograma: Una vez obtenido el semivariograma experimental, se realizó su ajuste a algún semivariograma teórico (Englund & Sparks 1988) utilizando el programa Variowin 2.2.

Validación del modelo teórico: Se realizó de forma interactiva, variando los valores Co (efecto de pepita), C + Co (meseta) y a (alcance), hasta coincidir con el mejor ajuste, una vez determinado se validó a través de los parámetros estadísticos de validación cruzada (Samper & Carrera 1996):

a) Media de los errores de estimación (MEE):

$$MEE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]$$

donde: $z^*(x_i)$ es el valor estimado de la variable de interés en el punto x_i ; $z(x_i)$ es el valor medido de la variable de interés en el punto x_i y n es el número de puntos muestrales utilizado en la interpolación. La MEE no debe ser significativamente distinta de 0 (Prueba de t), en cuyo caso, indicaría que el modelo de semivariograma permite el cálculo de estimativos no sesgados.

b) Error cuadrático medio (ECM)

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]^2$$

Un modelo de semivariograma se considera adecuado si, como regla práctica, el valor del estadístico es cercano a cero (Hevesi et al. 1992).

c) Error cuadrático medio adimensional (ECMA)

$$ECMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[z^*(x_i) - z(x_i)]^2}{\sigma_k}$$

donde: σ_k es la desviación estandar del error esperado en la estimación con el "krigeado". La validez del modelo se satisface si el valor de ECMA es igual o cercano a 1.

d) Otro estadístico para validar el ajuste del modelo consiste en que el valor de la varianza de los errores sea menor a la varianza muestral.

Nivel de dependencia espacial: La determinación del grado de relación entre los datos o nivel de dependencia espacial se obtuvo al dividir el efecto pepita entre la meseta, expresado en porcentaje. Si el resultado es menor de 25% el nivel de dependencia espacial es alta, si se encuentra entre 26 y 75% el nivel de dependencia espacial es moderado y si es mayor del 76% es bajo (Cambardella et al. 1994).

Elaboración de mapas: Se realizó la interpolación de valores a través del "krigeado" ordinario que permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados, para ello se utilizó el programa WinGslib 2002. Las estimaciones obtenidas fueron representadas en forma de mapa para cada fecha de muestreo de huevos, ninfas y adultos del *B. cockerelli* mediante el uso del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866, EEUU).

RESULTADOS

Estadística clásica: En transectos, la distribución espacial con el índice de dispersión para huevos fue agregada en las tres fechas de muestreo mientras que en ninfas y adultos se presentó agregación para segunda y tercera fecha. El índice de Green indicó agregación para huevos, ninfas y adultos en las tres fechas de muestreo excepto para la tercera fecha en el estadio de ninfas (Tabla 1). Caso contrario se presentó con el uso del modelo de Poisson, donde únicamente se observó agregación para segunda fecha en los tres estadios estudiados. Finalmente, el modelo de distribución de binomial negativa no se ajustó para huevos y adultos en la primera fecha de monitoreo y no fue significativa para la segunda, en el estadio de huevos. Por otro lado, se presentó agregación en el estadio de nin-

fas para las tres fechas de muestreo, efecto similar se observó en el estadio de adultos para la segunda y tercera fecha, mientras que para el estadio de

huevos únicamente en la fecha última fue significativo aunque con valores altos de k (Tabla 1).

Tabla 1. Índices de dispersión y distribuciones estadísticas en huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* obtenidos en el muestreo por transecto en tres fechas de muestreo.

| Fecha | Índice de dispersión | Índice de Green | Poisson | Binomial negativa | K |
|----------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|-------|
| Huevos | | | | | |
| 27/06/08 | 2.12s | 0.003 | NA | NA | - |
| 24/07/08 | 2.09s | 0.006 | S | NS | - |
| 21/08/08 | 1.42s | 0.002 | NS | S | 12.41 |
| Ninfas | | | | | |
| 27/06/08 | 1.07ns | 0.007 | NS | S | 18.82 |
| 24/07/08 | 1.73s | 0.009 | S | S | 4.29 |
| 21/08/08 | 1.64s | 0.000 | NS | S | 3.17 |
| Adultos | | | | | |
| 27/06/08 | 1.11ns | 0.011 | NA | NA | - |
| 24/07/08 | 1.76s | 0.005 | S | S | 2.28 |
| 21/08/08 | 1.81s | 0.013 | NS | S | 2.75 |

S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%. NA: No ajustada

En el muestreo con cuadrante, el análisis con el índice de dispersión mostró una fuerte distribución agregada en las poblaciones de huevos en las tres fechas de muestreo, para ninfas en la tercera fecha mientras que en adultos fue en primera y tercera fecha. Con el índice de Green se presentó un comportamiento agregado para los tres estadios en las tres fechas estudiadas (Tabla 2). Por otro lado, con el modelo de Poisson solo se obtuvo significancia en la segunda fecha de muestreo para los estadios

de ninfas y adultos mientras que para huevos no se logró ajuste. En la primera y tercer fecha no fue significativa en los tres estadios. Finalmente, las poblaciones de *B. cockerelli* con la distribución binomial negativa mostraron ajuste al modelo, indicando forma agregada en los tres estadios para las tres fechas de muestreo excepto en la segunda fecha para huevos. Los valores mayores de 1 en k indican una estructura débil de agregación.

Tabla 2. Índices de dispersión y distribuciones estadísticas en huevos, ninfas y adultos of *B. cockerelli* en el muestreo por cuadrantes.

| Fecha | Índice de dispersión | Índice de Green | Poisson | Binomial negativa | K |
|----------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|-------|
| Huevos | | | | | |
| 27/06/08 | 2.05s | 0.005 | NS | S | 2.83 |
| 24/07/08 | 2.19s | 0.010 | NA | NA | - |
| 21/08/08 | 2.11s | 0.008 | NS | S | 6.22 |
| Ninfas | | | | | |
| 27/06/08 | 1.02ns | 0.012 | NS | S | 10.42 |
| 24/07/08 | 1.15ns | 0.006 | S | S | 2.16 |
| 21/08/08 | 2.31s | 0.016 | NS | S | 7.52 |
| Adultos | | | | | |
| 27/06/08 | 2.25s | 0.004 | NS | S | 3.35 |
| 24/07/08 | 1.13ns | 0.016 | S | S | 1.61 |
| 21/08/08 | 1.77s | 0.008 | NS | S | 8.58 |

S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%. NA: No ajustada

Geoestadística: La distribución espacial obtenida en las poblaciones de preimaginales (huevos y ninfas) y adultos de *B. cockerelli* fue de tipo agregada tanto en el muestreo realizado por transectos como de cuadrantes para cada una de las tres fechas de muestreo. Con ambos tipos de muestreo se logró modelar la distribución espacial que presentaron las poblaciones de *B. cockerelli*.

Respecto al muestreo realizado por transectos, el semivariograma experimental para el estadio huevos se ajustó al modelo esférico para la primera y tercera fecha, ajuste similar se presentó en la población de adultos para la tercera fecha (Tabla 3 y Figura 1).

Tabla 3. Parámetros (Efecto pepita, meseta y rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas obtenidos en el muestreo por transectos para huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* en el cultivo de papa.

| Fecha | Modelo | Efecto Pepita | Meseta | Rango | Pepita/Rango (%) | Nivel de dependencia espacial |
|----------------|-----------|---------------|--------|-------|------------------|-------------------------------|
| Huevos | | | | | | |
| 27/06/08 | Esférico | 0.0 | 99.20 | 25.92 | 0.00 | Alta |
| 24/07/08 | Esférico | 0.0 | 30.66 | 33.60 | 0.00 | Alta |
| 21/08/08 | Gaussiano | 2.1 | 33.17 | 22.07 | 6.33 | Alta |
| Ninfas | | | | | | |
| 27/06/08 | Gaussiano | 0.0 | 5.31 | 22.08 | 0.00 | Alta |
| 24/07/08 | Gaussiano | 0.0 | 2.32 | 20.16 | 0.00 | Alta |
| 21/08/08 | Gaussiano | 0.0 | 2.11 | 24.00 | 0.00 | Alta |
| Adultos | | | | | | |
| 27/06/08 | Gaussiano | 0.0 | 6.45 | 24.00 | 0.00 | Alta |
| 24/07/08 | Gaussiano | 0.0 | 0.07 | 22.08 | 0.00 | Alta |
| 21/08/08 | Esférico | 0.0 | 0.12 | 25.92 | 0.00 | Alta |

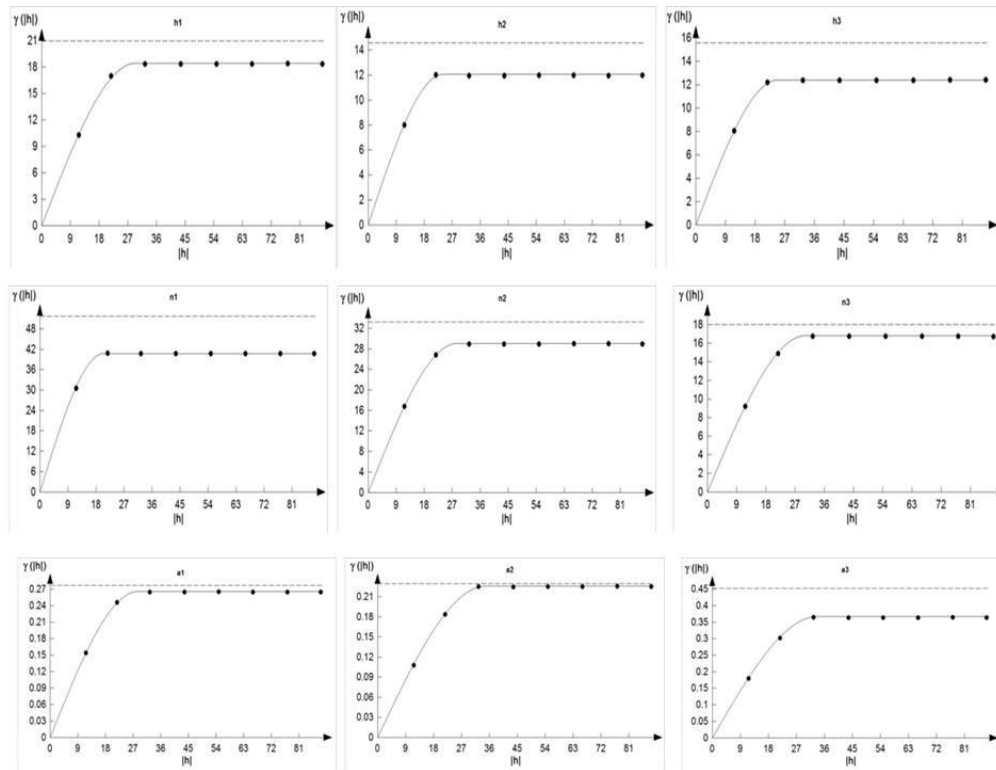


Figura 1. Semivariogramas de huevos (h), ninfas (n) y adultos (a) of *B. cockerelli* Sulc. obtenidos por transectos en tres fechas de muestreo en el cultivo de Papa; (1) corresponde a 27/06/2008, (2) corresponde a 24/07/2008 y (3) corresponde a 21/08/2008.

Las poblaciones de ninfas en las tres fechas de muestro, así como de adultos en la primera y segunda fecha se ajustaron al modelo gaussiano, efecto similar se observó para la población de huevos en la tercera fecha de muestreo en donde se obtuvo un efecto pepita de 2.1. Los valores de cero en el efecto pepita en el resto de los modelos obtenidos son indicativos de que la escala de muestreo utilizada en el presente trabajo fue la

adecuada. Los valores de la meseta se ubicaron en el intervalo de 30.66 a 99.20 en el estadio de huevos; de 2.11 a 5.31 para ninfas y de 0.07 a 5.45 para adultos. Para los tres estadios se presentó alto nivel de dependencia espacial en las tres fechas de muestreo (Tabla 3). Todos los modelos se lograron validar con los parámetros estadísticos al ubicarse dentro del rango permisible (Tabla 4).

Tabla 3. Parámetros (Efecto pepita, meseta y rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas obtenidos en el muestreo por transectos para huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* en el cultivo de papa

| Fecha | Modelo | Efecto pepita | Meseta | Rango | Pepita/ Rango (%) | Nivel de dependencia espacial |
|----------|-----------|---------------|--------|-------|-------------------|-------------------------------|
| Huevos | | | | | | |
| 27/06/08 | Esférico | 0.0 | 99.20 | 25.92 | 0.00 | Alta |
| 24/07/08 | Esférico | 0.0 | 30.66 | 33.60 | 0.00 | Alta |
| 21/08/08 | Gaussiano | 2.1 | 33.17 | 22.07 | 6.33 | Alta |
| Ninfas | | | | | | |
| 27/06/08 | Gaussiano | 0.0 | 5.31 | 22.08 | 0.00 | Alta |
| 24/07/08 | Gaussiano | 0.0 | 2.32 | 20.16 | 0.00 | Alta |
| 21/08/08 | Gaussiano | 0.0 | 2.11 | 24.00 | 0.00 | Alta |
| Adultos | | | | | | |
| 27/06/08 | Gaussiano | 0.0 | 6.45 | 24.00 | 0.00 | Alta |
| 24/07/08 | Gaussiano | 0.0 | 0.07 | 22.08 | 0.00 | Alta |
| 21/08/08 | Esférico | 0.0 | 0.12 | 25.92 | 0.00 | Alta |

Tabla 4. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en el muestreo por transectos: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA).

| Fecha | Media muestral | Varianza muestral | MEE* | Varianza de los errores | ECM | ECMA |
|----------|----------------|-------------------|--------------------|-------------------------|------|------|
| Huevo | | | | | | |
| 27/06/08 | 3.79 | 27.573 | 0.10 ^{ns} | 20.321 | 0.04 | 1.06 |
| 24/07/08 | 2.80 | 19.939 | 0.11 ^{ns} | 16.361 | 0.07 | 1.11 |
| 21/08/08 | 2.83 | 19.105 | 0.12 ^{ns} | 14.952 | 0.12 | 1.05 |
| Ninfa | | | | | | |
| 27/06/08 | 0.53 | 6.167 | 0.11 ^{ns} | 4.721 | 0.09 | 1.10 |
| 24/07/08 | 0.52 | 3.865 | 0.13 ^{ns} | 2.581 | 0.11 | 1.13 |
| 21/08/08 | 0.49 | 2.487 | 0.10 ^{ns} | 1.793 | 0.08 | 1.07 |
| Adulto | | | | | | |
| 27/06/08 | 0.04 | 0.040 | 0.11 ^{ns} | 0.023 | 0.06 | 1.09 |
| 24/07/08 | 0.08 | 0.094 | 0.10 ^{ns} | 0.071 | 0.10 | 1.11 |
| 21/08/08 | 0.12 | 0.138 | 0.10 ^{ns} | 0.094 | 0.12 | 1.08 |

* $1 \pm 2 (2/N)^{0.5} = 1 \pm 0.45$, ns: no significativo al $P \leq 0.05$

El análisis geoestadístico realizado a las poblaciones de *B. cockerelli* obtenidas en el muestreo por cuadrantes indicó un ajuste al modelo esférico en las tres fechas de muestreo para el estadio de ninfas así como para huevos y adultos en la segunda y tercera fecha, respectivamente. Por otro lado, las poblaciones de adultos obtenidas en la primera y segunda fecha se ajustaron al modelo gaussiano así como para la primera fecha y tercer fecha en el estadio de huevos. Para todos los modelos, el efecto pepita fue cero (Tabla 5 y Figura 3) excepto para la segunda fecha del estadio de adultos en don-

de se obtuvo un valor de 0.02. La meseta presentó valores que se ubicaron dentro del rango de 24.41 a 168.20 para huevos, de 0.57 a 0.83 para ninfas y de 0.03 a 0.33 para adultos. El nivel de dependencia espacial fue alto para todos los modelos obtenidos en las tres fechas de muestreo tanto en los estadios de preimaginales como de adultos. Todos los modelos se validaron con los parámetros estadísticos al ubicarse dentro de los rangos permisibles (Tabla 6).

Tabla 5. Parámetros (Efecto pepita, meseta y rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas obtenidos en el muestreo por cuadrantes para huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* en el cultivo de papa.

| Fecha | Modelo | Efecto pepita | Meseta | Rango | Pepita/Rango (%) | Nivel de dependencia espacial |
|----------|-----------|---------------|--------|-------|------------------|-------------------------------|
| Huevo | | | | | | |
| 27/06/08 | Gaussiano | 0.0 | 46.52 | 16.80 | 0.00 | Alta |
| 24/07/08 | Esférico | 0.0 | 24.41 | 20.00 | 0.00 | Alta |
| 21/08/08 | Gaussiano | 0.0 | 168.20 | 16.80 | 0.00 | Alta |
| Ninfa | | | | | | |
| 27/06/08 | Esférico | 0.0 | 0.73 | 16.00 | 0.00 | Alta |
| 24/07/08 | Esférico | 0.0 | 0.83 | 20.00 | 0.00 | Alta |
| 21/08/08 | Esférico | 0.0 | 0.57 | 19.20 | 0.00 | Alta |
| Adulto | | | | | | |
| 27/06/08 | Gaussiano | 0.0 | 0.03 | 16.49 | 0.00 | Alta |
| 24/07/08 | Gaussiano | 0.2 | 0.33 | 18.18 | 6.06 | Alta |
| 21/08/08 | Esférico | 0.0 | 0.25 | 28.00 | 0.00 | Alta |

Tabla 6. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en el muestreo por cuadrantes: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA).

| Fecha | Media muestral | Varianza muestral | MEE* | Varianza de los errores | ECM | ECMA |
|----------|----------------|-------------------|--------------------|-------------------------|------|------|
| Huevos | | | | | | |
| 27/06/08 | 3.79 | 27.573 | 0.10 ^{ns} | 20.321 | 0.04 | 1.06 |
| 24/07/08 | 2.80 | 19.939 | 0.11 ^{ns} | 16.361 | 0.07 | 1.11 |
| 21/08/08 | 2.83 | 19.105 | 0.12 ^{ns} | 14.952 | 0.12 | 1.05 |
| Ninfas | | | | | | |
| 27/06/08 | 0.53 | 6.167 | 0.11 ^{ns} | 4.721 | 0.09 | 1.10 |
| 24/07/08 | 0.52 | 3.865 | 0.13 ^{ns} | 2.581 | 0.11 | 1.13 |
| 21/08/08 | 0.49 | 2.487 | 0.10 ^{ns} | 1.793 | 0.08 | 1.07 |
| Adultos | | | | | | |
| 27/06/08 | 0.04 | 0.040 | 0.11 ^{ns} | 0.023 | 0.06 | 1.09 |
| 24/07/08 | 0.08 | 0.094 | 0.10 ^{ns} | 0.071 | 0.10 | 1.11 |
| 21/08/08 | 0.12 | 0.138 | 0.10 ^{ns} | 0.094 | 0.12 | 1.08 |

* $1 \pm 2 (2/N)^{0.5} = 1 \pm 0.45$, ns: no significativo a $P \leq 0.05$

Obtención de mapas: Los mapas de la superficie infestada en el muestreo por transectos demuestran que las poblaciones de *B. cockerelli* se ubican en centros de agregación, es decir, su distribución se localiza en puntos específicos en donde se encuentran las mayores poblaciones de huevos, ninfas y adultos (Figura 2). Para el estadio de huevos, sus poblaciones se distribuyen sobre toda el área del mapa, indicativo de la presencia del insecto sobre toda la parcela de papa o bien la ausencia de control. Sin embargo, en el mapa generado en la

fecha de muestreo del 27/06/08, los centros de agregación presentaron la tendencia de ubicarse en la región derecha de la parcela, lo que sugiere que la invasión del insecto proviene de las parcelas vecinas. A partir de la región derecha de la parcela, la infestación del insecto avanza hacia el interior, corroborándose con los mapas generados para la segunda y tercer fecha de muestreo, además se visualizaron una mayor cantidad de centros de agregación (Figura 2).

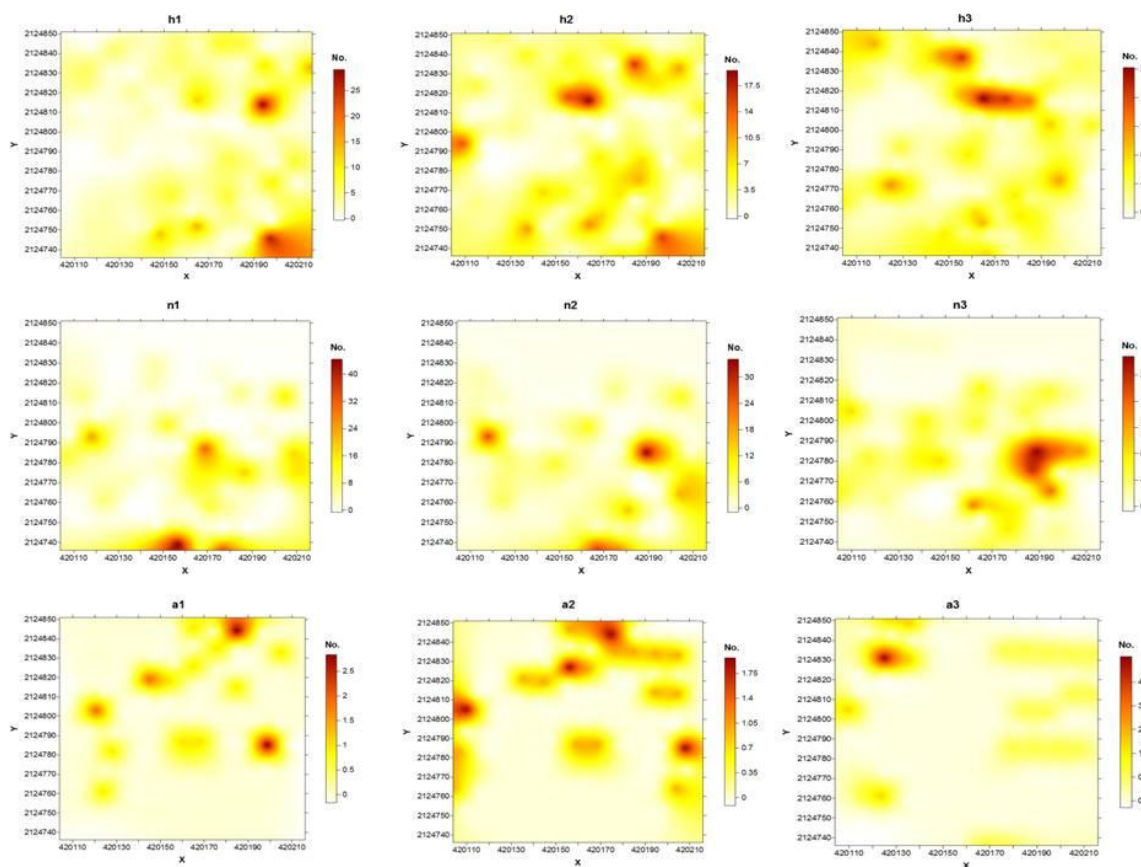


Figura 2. Mapas de densidad de huevos (h), ninfas (n) y adultos (a) de *B. cockerelli* Sulc. obtenidos en el muestreo por transectos para las tres fechas de muestreo ; (1) corresponde a 27/06/2008, (2) corresponde a 24/07/2008 y (3) corresponde a 21/08/2008.

En dichos mapas se observa una distribución del estadio del insecto sobre la mayor parte de la parcela, concordando con los valores obtenidos de la superficie infestada estimada, que vario de 75 al 89%, para el estadio de huevos por este método de

muestreo (Tabla 7). Respecto al estadio de ninfas, los mapas indican la presencia de densidades homogéneas en puntos muy específicos. Se ubican centros de agregación desde la zona central del mapa hacia la inferior en las tres fechas de muestreo.

treo (Figura 2) aunque en la primera fecha se observa una menor cantidad de centros de agregación en donde la interpolación geoestadística determinó una superficie no infestada estimada de

61%, mientras que la mayor superficie infestada se detectó en la tercera fecha de muestreo (Tabla 7).

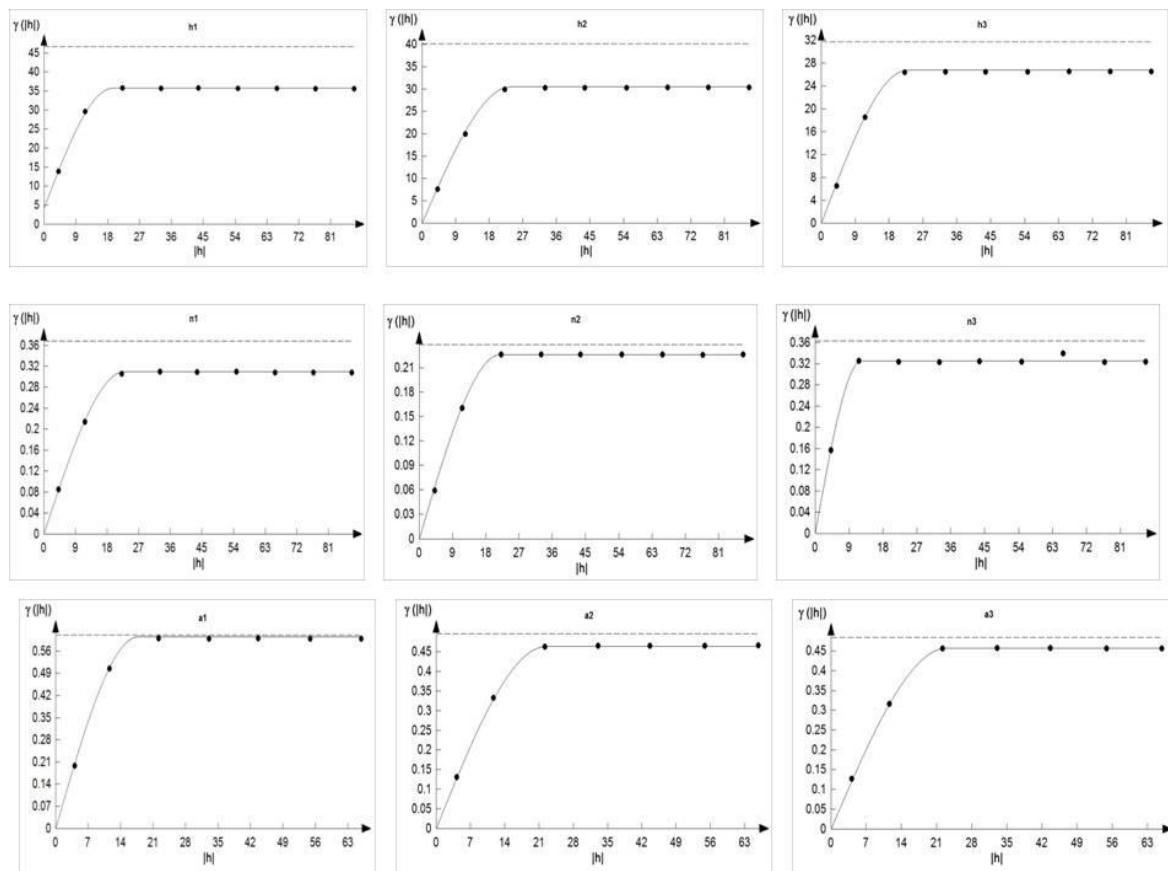


Figura 3. Semivariogramas de huevos (h), ninfas (n) y adultos (a) de *B. cockerelli* Sulc. obtenidos en el muestreo por cuadrantes para las tres fechas de muestreo ; (1) corresponde a 27/06/2008, (2) corresponde a 24/07/2008 y (3) corresponde a 21/08/2008.

Los mapas de las poblaciones de adultos en las tres fechas de muestreo reflejan que *B. cockerelli*, a pesar de su hábito migratorio, se agrupa en centros específicos de agregación. La ubicación de dichos centros presenta la tendencia de ubicarse de la zona central del mapa hacia el margen superior derecho en las dos primeras fechas de muestreo con una ligera disminución en la cantidad de centros de agregación para la tercera fecha de muestreo en donde la tendencia de sus centro de agregación se orientan hacia la parte superior izquierda, lo cual se refleja en una mayor distribución del insecto sobre la parcela de papa cuya superficie infestada estimada fue del 81%. La menor superficie infestada estimada por adultos se pre-

sentó en la primera fecha de muestreo (Tabla 7). La cantidad promedio de adultos por planta se estimó en menos de un ejemplar por planta.

En el muestreo por cuadrantes, los mapas obtenidos reflejan la estructura agregada de las poblaciones de huevos en las tres fechas muestreo con una tendencia de agregación de sus poblaciones de la zona centro del mapa hacia la región superior izquierda (Figura 4), estimando una superficie infestada del 88% (Tabla 7), mayor a lo detectado en el muestro con transectos. En el estadio de ninfas, los centros de agregación se ubican del segmento inferior hacia la parte superior sobre el largo del mapa para la segunda y tercer fecha de

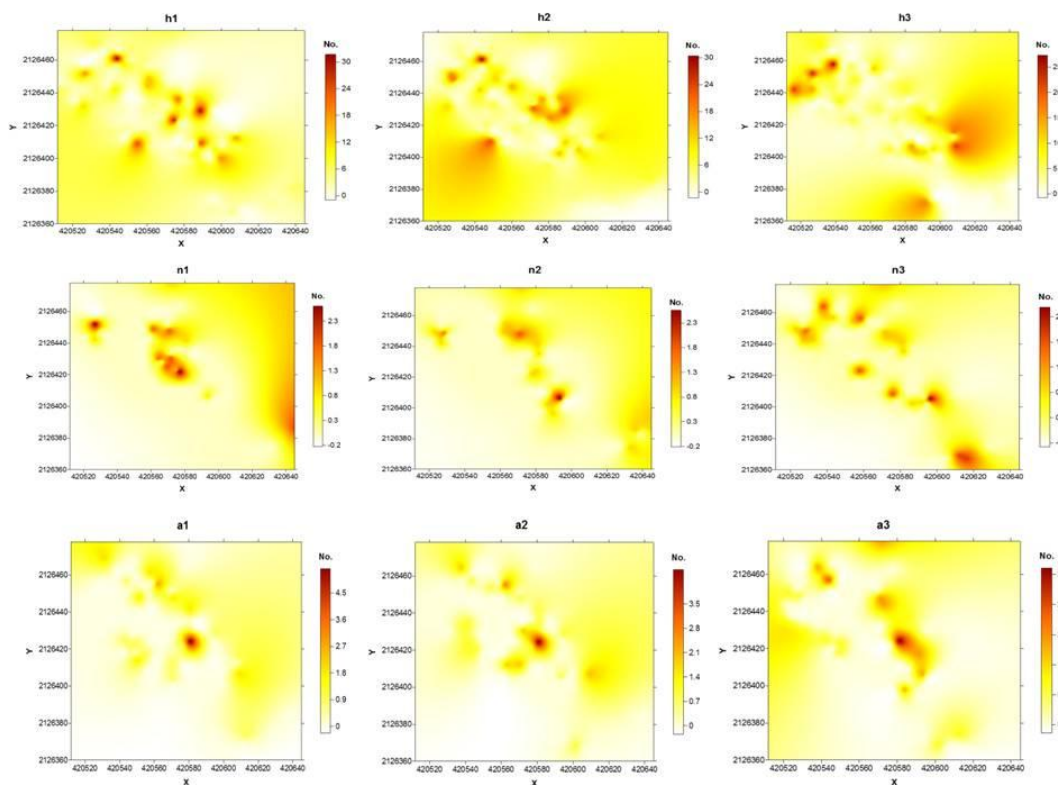


Figura 4. Mapas de densidad de huevos (h), ninfas (n) y adultos (a) de *B. cockerelli* Sulc. obtenidos en el muestreo por cuadrantes para las tres fechas de muestreo; (1) corresponde a 27/06/2008, (2) corresponde a 24/07/2008 y (3) corresponde a 21/08/2008.

muestreo, con una ligera tendencia hacia el centro de la parcela en la primera fecha. La superficie infestada estimada en la parcela de papa con este estado fue del 48 al 90 % (Tabla 7). En adultos, las poblaciones se visualizaron de la región central

del mapa hacia la parte superior izquierda en todas las fechas de muestreo con una superficie infestada estimada dentro del intervalo de 56 al 91% (Tabla 7).

Tabla 7. Superficie infestada y no infestada estimada (%) obtenida en el muestreo por transectos y cuadrantes.

| Fecha | Transecto | | Cuadrantes | |
|----------|-----------|--------------|------------|--------------|
| | Infestada | No infestada | Infestada | No infestada |
| Huevo | | | | |
| 27/06/08 | 75 | 25 | 88 | 12 |
| 24/07/08 | 86 | 14 | 77 | 23 |
| 21/08/08 | 89 | 11 | 22 | 78 |
| Ninfa | | | | |
| 27/06/08 | 39 | 61 | 48 | 52 |
| 24/07/08 | 52 | 48 | 90 | 10 |
| 21/08/08 | 61 | 39 | 51 | 49 |
| Adulto | | | | |
| 27/06/08 | 49 | 51 | 79 | 21 |
| 24/07/08 | 78 | 22 | 91 | 9 |
| 21/08/08 | 81 | 19 | 56 | 44 |

DISCUSIÓN

La mayor cantidad de centros de agregación fue obtenida cuando el muestreo se realizó por transectos en los tres estadios del insecto dentro de la parcela de papa muestreada, lo anterior se logró debido a que dicho muestreo considera la toma de muestras de casi todos los puntos de la parcela, mientras que en el muestreo por cuadrantes existen zonas en donde no se detectó al insecto, posiblemente debido a la aleatoriedad de los puntos de muestreo que implica no muestrear algunas zonas (Lohr 1999).

Los índices de dispersión y las distribuciones estadísticas utilizados permitieron determinar la estructura agregada de las poblaciones de huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* para ciertas fechas de muestreo así como distribuciones de tipo aleatorio o bien no logró ajustarse alguna población para las restante fechas, e incluso muestran resultados contradictorios respecto a la agregación del insecto, posiblemente ocasionado por las bajas densidades de la plaga presentes en dichas fechas, por lo que dichas determinaciones no permite focalizar las medidas de control, pero sugiere una aplicación total para el manejo de la plaga. En general, el índice de Green reveló un mayor número de agregaciones leves. Si bien este índice es presentado como el más adecuado de los índices de dispersión ya que es independiente del número total de individuos capturados y del valor medio de su abundancia, no es independiente del tamaño de la muestra (De los Santos 1982). Por su parte, el índice de dispersión (cociente varianza-media) al utilizar la varianza para evaluar el grado de agregación presenta graves inconvenientes ya que depende directamente de la abundancia (Leveche 1972) y hace que poblaciones con densidades medias altas presenten índices altos. Tal hecho limita, en gran medida, la fiabilidad del resultado obtenido. Otra limitación tanto de los índices de dispersión como de las distribuciones estadísticas, es que no consideran la naturaleza bidimensional de las poblaciones del insecto ya que no toma en cuenta la localización exacta de los individuos muestreados (Wackernagel 1998).

Contrariamente, la geoestadística permitió determinar la distribución espacial de *B. cockerelli* bajo una estructura agregada tanto en el muestreo realizado por transectos como en el de cuadrantes en los estadios de huevos, ninfas y adultos para las tres fechas de muestreo en el cultivo de papa, lo que sugiere enfocar las medidas de control hacia

los puntos de la parcela en donde se ubica los puntos de agregación de la plaga dentro del cultivo de papa.

Los valores de cero en el efecto pepita en los semivariogramas obtenidos de los diferentes modelos ajustados permiten afirmar que la escala de muestreo fue la correcta y los modelos ajustados tienen un 98% de credibilidad (Liebhold & Sharob 1998) y que el error de muestreo fue insignificante (Oliver & Webster 1991). Además las funciones estadísticas permitieron validar los modelos esféricos y gaussiano que se ajustaron para los tres estadios analizados en cada fecha de muestreo. El modelo esférico sugiere que la plaga se presenta en mayor cantidad en ciertas zonas de la parcela respecto al resto de los puntos considerados en el muestreo, es decir, los centros de agregación del insecto son aleatorios en la superficie de la parcela de papa. La poblaciones de huevos, ninfas y adultos ajustadas al modelo gaussiano sugieren una manifestación continua en su distribución, avanzando hacia otros puntos de la parcela aunque su infestación no se da al 100%. La validación de los semivariogramas corrobora la distribución agregada de las poblaciones de huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli*. En los tres estadios, sus densidades medias fueron muy similares para las tres fechas de muestreo, lo que posiblemente ocasionó tipos de agregación muy similares los cuales fueron explicados tanto por el ajuste al modelo esférico como gaussiano cuando el muestreo se realizó tanto con cuadrantes como con transectos.

La alta dependencia espacial permite suponer que las poblaciones de huevos, ninfas y adultos dependen entre si y su nivel de agregación es alto (Rossi et al. 1992). El análisis geoestadístico demostró ser una herramienta apropiada para el estudio de la distribución espacial de huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* presentes en el cultivo de papa, dichos resultados son similares a los encontrados en los trabajos de Schotzko & O'Keeffe (1989), Liebhold et al. (1991), Sciarretta et al. (2001), Blom & Fleischer (2001) y Ramírez & Porcayo (2008).

Los mapas de densidad obtenidos con la técnica de "krigeado" muestran los centros de agregación de las poblaciones tanto para estadios preimaginales como para el adulto *B. cockerelli*, las densidades medias encontradas en las poblaciones de dichos estadios, en las tres fechas de muestreo, permitió encontrar diversos tipos de centros de agregación, lo cual concuerda con Fleischer et al.

(1998) quienes indicaron la relación existente entre la densidad media de los insectos y la cantidad de centros de agregación observada a través de los mapas de densidad generados, que desde el punto de vista de protección de cultivos tal información permite dirigir de forma precisa las diferentes medidas de control del insecto (Weisz et al. 1996 y Fleischer et al. 1997) generando beneficios económicos al realizar con menor frecuencia las aplicaciones de plaguicidas, menor uso de combustibles, menor impacto al medio ambiente, retardar el desarrollo de resistencia al no tratar toda la superficie del cultivo (Fleischer et al. 1999), visualizar la variabilidad poblacional e identificando áreas infestadas y libres de infestación. Las zonas con densidades variables del insecto observadas

en los mapas refuerza la posibilidad de dirigir las medidas de control, utilizando una menor cantidad de plaguicidas y, por lo tanto, una reducción de costos; además los mapas obtenidos nos permitieron identificar áreas infestadas y libres de infestación, tal apreciación permite indicar que los estadios de *B. cockerelli* no invaden el 100% de la superficie de la parcela analizada por lo que considerar que su distribución es uniforme es un grave error. El conocimiento de las áreas infestadas de *B. cockerelli* permite precisar el posible ahorro económico en las estrategias de control dirigidas a los centros de agregación, sobre todo si consideramos que en las diferentes zonas productoras de papa en México realizan aplicaciones semanales contra la plaga sobre toda la superficie de cultivo.

LITERATURA CITADA

- Anónimo. 2007. CESAVEM (Comité estado de sanidad vegetal del estado de México). Manual operativo para la atención de la Paratrioza *Bactericera cockerelli* Sulc. Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México – SAGARPA.
- Blom, E. P. & S. J. Fleischer. 2001. Dynamics in the spatial structure of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology*, 30: 350-364.
- Cambardella, C., T. Moorman, J. Novak, T. Parkin, D. Karlen, R. Turco & A. Konopka. 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of American Journal*, 58: 1501-1511.
- De los Santos, A., C. Montes & I. Ramírez-Díaz. 1982. Modelos espaciales de algunas poblaciones de coleópteros terrestres en dos ecosistemas del bajo Guadalquivir (S.W. España). *Mediterránea Serie Biológica*, 6: 65-92.
- Englund, E. & A. Sparks. 1988. GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) User's guide. U.S. Environmental Protection Agency. Document EPA/600/4-88/033. Environmental Monitoring Systems Laboratory. Las Vegas, NV. USA.
- Fleischer, S., R. Weisz, Z. Smilowitz & D. Midgarden. 1997. Spatial variation in insect populations and site-specific integrated pest management. Pp. 101-130, en: the state of site-specific management for agriculture (F. J. Pierce & E. J. Sadler, eds.) ASA Miscellaneous Publication. Madison, WI.
- Fleischer, S.J., P. Blom, D. Emmen & A. Hower. 1998. Dynamics in the spatial continuity of insect density. Pp 133-144, en: Proceedings of 4th International Conference on Precision Agriculture (P. Robert, R. H. Rust, W. E. Larson, eds). St. Paul, MN. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Fleischer, J., E. P. Blom & R. Weisz. 1999. Sampling in precision IPM: When the objective is a map. *Phytopathology*, 89: 115-118.
- Garzón, T. 2004. El "Pulgón Saltador" o la Paratrioza, una amenaza para la horticultura de Sinaloa. Memoria de Taller sobre *Paratrioza cockerelli* Sulc. como plaga y vector de fitoplasmas en hortalizas. Culiacán, Sinaloa, México.
- Hansen, A. K., J. T. Trumble, R. Stouthamer & T.D. Paine. 2008. New Huanglongbing (HLB) Candidatus species, "*C. Liberibacter psyllaureus*" found to infect tomato and potato is vectored by the psyllid *Bactericera cockerelli* (Sulc). *Applied and Environmental Microbiology*, 74: 5862-5865
- Hevesi, J., J. Istok & A. Flint. 1992. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I. Structural analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 31: 661-676.
- Hulbert, S. 1990. Spatial distribution of the montane unicorn. *Oikos*, 58: 257-271.
- Isaaks, E. H. & R. M. Srivastava. 1988. Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical Geology*, 20: 313-341.
- Leveche, Ch. 1972. Mollusques benthiques du lac Tchad: ecologie, etude des peuplements et estimation des biomasses. *Cahiers - ORSTOM: Série Hydrobiologie*, 6: 3-45.

- Liebhold, A., Sharov, A., 1998. Testing for correlation in the presence of spatial autocorrelation in insect count data. Pp. 111-117, in: Population and Community Ecology for Insect Management and Conservation. (Baumgartner, J., Brandmayr, P. & Manly, B. eds.). Balkema, Rotterdam.
- Liebhold, A., X. Zhang, M. Hohn, J. Elkinton, M. Ticehurst, G. Benzon & R. Campbell. 1991. Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass populations. Environmental Entomology, 20: 1407-1417.
- Lohr, S. L. 1999. Muestreo: Diseño y Análisis. International Thomson Editores. México.
- Munyaneza, J. E., J. M. Crosslin & J.E. Upton. 2007a. Association of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) with "Zebra Chip", a new potato disease in southwestern United States and Mexico. Journal of Economic Entomology, 100: 656-663.
- Munyaneza, J. E., J. A. Goolsby, J. M. Crosslin & J. E. Upton. 2007b. Further evidence that zebra chip potato disease in the Lower Rio Grande Valley of Texas is Associated with *Bactericera cockerelli*. Subtropical Plant Science, 59: 30-37.
- Oliver, M. & R. Webster. 1991. How geostatistics can help you. Soil Use and Management, 7: 206-217.
- Ramírez, J. F. & E. Porcayo. 2008. Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca líbica* (Hemiptera: Cica-dellidae) en un viñedo en Andalucía, España. Revista Colombiana de Entomología, 34: 169-175.
- Rossi, R., J. Mulla, G. Journel & H. Franz. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. Ecological Monographs, 62: 277-314.
- Samper, F.J. & J. Carrera. 1996. Geoestadística: Aplicaciones a la hidrología subterránea. 2nd ed. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Barcelona, España.
- Sawyer, J. 1989. Inconstancy of Taylor's b: simulated sampling with different quadrat sizes and spatial distributions. Research on Population Ecology, 31: 11-24.
- Schotzko, D. & L. O'keeffe. 1989. Geostatistical description of the spatial distribution of *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae) in lentils. Journal of Economic Entomology, 82: 1277-1288.
- Sciarretta, A., P. Trematerra & J. Baumgärtner. 2001. Geostatistical analysis of *Cydia funebrana* (Lepidoptera: Tortricidae) pheromone trap catches at two spatial scales. American Entomologist, 47: 174-184.
- Speight, M., R. Hails, M. Gilbert & A. Foggo. 1998. Horse chestnut scale (*Pulvinaria regalis*) (Homoptera: Coccidae) and urban host tree environment. Ecology, 79: 1503-1513.
- Wackernagel, H. 1998. Multivariate geostatistics: An introduction with applications. 2^a Ed. Springer-Verlag, Berlin.
- Weisz, R., J. Fleischer & Z. Smilowitz. 1996b. Site specific integrated pest management for high value crops: Impact on potato pest management. Journal Economic Entomology, 89: 501-509.